



TUGAS AKHIR - TE 141599

**VERIFIKASI SIDIK JARI MENGGUNAKAN SCALE INFARIANT
FEATURE TRANSFORM**

Charisma Vian Geslianto
NRP 07111040000207

Dosen Pembimbing
Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.
Ahmad Zaini, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

**FINGERPRINT VERIFICATION USING SCALE INVARIANT FEATURE
TRANSFORM**

Charisma Vian Geslianto
NRP 07111040000207

Supervisors
Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.
Ahmad Zaini, ST., MT.

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “Verifikasi Sidik Jari Menggunakan *Scale Invariant Feature Transform*” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018

Charisma Vian Geslianto
07111040000207

VERIFIKASI SIDIK JARI MENGGUNAKAN SCALE INVARIANT FEATURE TRANSFORM

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Elektronika
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Dr. Eko Mulyanto Y., ST., MT.
NIP. 196806011995121009

Ahmad Zaini, S.T., M.T.
NIP. 197504192002121003



**SURABAYA
JULI, 2018**

ABSTRAK

Nama Mahasiswa : Charisma Vian Geslianto
Judul Tugas Akhir : Verifikasi Sidik Jari Menggunakan *Scale-Invariant Feature Transform*
Pembimbing : 1. Dr. Eko Mulyanto Y., ST., MT
2. Ahmad Zaini, ST., M.Sc.

Otentikasi biometrik telah mendapat perhatian luas selama beberapa dekade terakhir dengan meningkatnya permintaan alat pengenalan seseorang secara otomatis. Diantara banyak teknik biometrik, pengenalan sidik jari adalah salah satu pendekatan yang paling menjanjikan karena keandalan yang tinggi untuk identifikasi pribadi. Sidik jari merupakan salah satu bagian tubuh yang sangat unik pada tiap orang. Metode yang sudah dipatenkan masih menuai banyak kekurangan terutama ketika input gambar sidik jari kurang jelas. Kerusakan gambar input bisa berupa keadaan ujung jari yang tidak terduga seperti ujung jari basah karena keringat, ujung jari kasar, ujung jari kotor, ujung jari yang terpapar sakit alergi kulit dan lain-lain. Pada tugas akhir ini akan menggunakan algoritma *Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)* tersebut untuk menguji dalam melakukan verifikasi sidik jari dengan sampel gambar yang mengalami gangguan. Dengan harapan penelitian ini dapat digunakan untuk riset dan penelitian kembali dalam aplikasi visi komputer, biometrik ataupun keamanan.

Kata Kunci: Verifikasi, *Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)*

ABSTRACT

Nama Mahasiswa : Charisma Vian Geslianto
Judul Tugas Akhir : Verifikasi Sidik Jari Menggunakan *Scale-Invariant Feature Transform*
Pembimbing : 1. Dr. Eko Mulyanto Y., ST., MT
2. Ahmad Zaini, ST., M.Sc.

Biometric authentication has received widespread attention in recent decades with the increasing demand of a person recognition tool automatically. Among many biometric techniques, fingerprint recognition is one of the most promising approaches because of its high reliability for personal identification. Fingerprint is one of the most unique body parts in each person. Patented methods still reap a lot of flaws especially when fingerprint image input is less clear. The damage to the input image can be an unexpected fingertip when shooting like a wet fingertip due to sweat, an improper fingertip in the center of the sensor, a fingertip tipped from the sensor, a rushed fingertip while shooting and so on. In this final project will use Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) algorithm to test in doing fingerprint verification with the sample of image that has disturbance. With the hope of this research can be used for research and re-research in computer vision applications, biometrics or security.

Keywords: Verification, Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan berkah, rahmat, serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul **Verifikasi Sidik Jari Menggunakan Scale Invariant Feature Transform**.

Penelitian ini disusun dalam rangka pemenuhan bidang riset di Jurusan Teknik Elektro ITS, Bidang Studi Teknik Komputer dan Telematika, serta digunakan sebagai persyaratan menyelesaikan pendidikan S1. Penelitian ini dapat terselesaikan tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga, Ibu, Bapak dan Saudara tercinta yang telah memberikan dorongan spiritual dan material dalam penyelesaian buku penelitian ini.
2. Bapak Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Secara khusus penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT. dan Bapak Ahmad Zaini, ST., M.Sc. atas bimbingan selama mengerjakan penelitian.
4. Bapak-ibu dosen pengajar Bidang Studi Teknik Komputer dan Telematika, atas pengajaran, bimbingan, serta perhatian yang diberikan kepada penulis selama ini.

Kesempurnaan hanya milik Tuhan YME, untuk itu penulis memohon segenap kritik dan saran yang membangun. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Amin.

Surabaya, Juni 2018

Charisma Vian G.

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
1.6. Relevansi	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Image Processing</i>	5
2.2. Biometrik	5
2.3. Sistem Biometrik	6
2.4. Sidik Jari	7
2.5. Kriteria Pengambilan Gambar Sidik Jari	8
2.5.1. Resolusi	8
2.5.2. Area	9
2.5.3. Piksel	9
2.5.4. Jarak Dinamis	9
2.5.5. Ketelitian Geometris	10
2.5.6. Kualitas Gambar	11
2.6. <i>Scale Invariant Feature Transform</i>	11
2.6.1. Membangun ruang skala	13

2.6.2. <i>Laplacian of Gaussian (LoG) Approximation</i>	16
2.6.3. Mencari Keypoint	18
2.6.3.1. Temukan maxima / minima dalam Gambar Dog	18
2.6.3.2. Mencari subpixel maxima/minima	20
2.6.4. Menyingkirkan Keypoint kontras rendah	20
2.6.5. Keypoint Orientation	21
2.6.6. Menghasilkan Feature	23
2.7. <i>Receiver Operating Characteristic</i>	26
2.8. Penelitian Terkait	27
 3. DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM	29
3.1. Tahap Persiapan	30
3.1.1. Alat Scan Sidik Jari	30
3.1.2. Cara Pengambilan Sidik Jari	31
3.2. Tahap Ujicoba Metode	34
3.2.1. Ekstrasi Fiture Menggunakan SIFT	34
3.2.2. Matching	37
3.3. Tahap Pengujian Hasil	39
3.3.1. Rancangan Data Uji	41
 4. PENGUJIAN DAN ANALISA	43
4.1. Macam Hasil Pengujian.....	43
4.1.1. True Positive	43
4.1.2. True Negative	44
4.1.3. False Positive	44
4.1.4. False Negative	45
4.2. Analisa Hasil Pengujian	46
4.2.1. Hasil Pengujian Threshold Match Point 3	46
4.2.2. Hasil Pengujian Threshold Match Point 4	49
4.2.3. Hasil Pengujian Threshold Match Point 5	51
4.2.4. Hasil Pengujan Rotasi	54
4.2.5. Analisa Pengujian Keseluruhan	55
 5. PENUTUP	57
5.1. Kesimpulan	57
5.2. Saran	57
 DAFTAR PUSTAKA	59

Biografi Penulis	61
------------------------	----

DAFTAR GAMBAR

2.1.	Pola dasar sidik jari	8
2.2.	Resolusi sidik jari	9
2.3.	Citra Sidik jari	10
2.4.	Tampilan pixel dari sidik jari	10
2.5.	Contoh citra sidik jari yang diperoleh dari scanner optic: Kanan, sidik jari kualitas bagus. Kiri, sidik jari dalam keadaan kering	11
2.6.	Inilah contohnya. Ini adalah gambar yang akan dicari	12
2.7.	Dan kami ingin menemukan benda-benda pada gambar 2.6 dalam gambar ini	12
2.8.	Hasil pencariannya	13
2.9.	Hasil Gaussian Blur	14
2.10.	Contoh Difference of Gaussian Blur	15
2.11.	Piramida Difference of Gaussian Blur	17
2.12.	Mencari maxima / minima pada gambar DoG	19
2.13.	Letak kira-kira maxima / minima	20
2.14.	Gambar satu keypoint	21
2.15.	Gambar gradient orientation	22
2.16.	Gambar histogram gradient orientation	23
2.17.	Gambar keypoint dengan feature	24
2.18.	Gambar SIFT 4x4	24
2.19.	Gambar SIFT Gaussian weighting function	25
2.20.	Kurva ROC	26
3.1.	Alur pengerjaan Tugas Akhir	29
3.2.	Fingerprint Reader ZK4500	31
3.3.	Metode Pengambilan Sidik Jari tegak lurus	32
3.4.	Metode Pengambilan Sidik Jari Geser	32
3.5.	Metode Pengambilan Sidik Jari Miring	33
3.6.	Metode Pengambilan Sidik Jari Pucuk Jari	34
3.7.	Diagram alur ekstrasi fitur	35
3.8.	Input dua gambar sidik jari	36
3.9.	Input dua gambar sidik jari yang telah mendapatkan keypoint	36
3.10.	Diagram alur pencocokan sidik jari	37
3.11.	Isi data descriptor <i>des1</i>	38

3.12.	Hasil setelah proses match	39
3.13.	Diagram pengujian	40
4.1.	Gambar hasil match True Positive	43
4.2.	Gambar hasil match True Negative	44
4.3.	Gambar hasil match False Positive	45
4.4.	Gambar hasil match False Negative	45
4.5.	Gambar hasil Kurva ROC	56

DAFTAR TABEL

3.1. Contoh tabel data uji	41
4.1. Tabel hasil pengujian verifikasi sidik jari threshold 3	46
4.2. Tabel matriks fonfusi hasil pengujian threshold 3.....	47
4.3. Tabel hasil pengujian verifikasi sidik jari threshold 4	49
4.4. Tabel matriks fonfusi hasil pengujian threshold 4.....	49
4.5. Tabel hasil pengujian verifikasi sidik jari threshold 5	52
4.6. Tabel matriks fonfusi hasil pengujian threshold 5.....	52
4.7. Tabel hasil pengujian rotasi	54
4.8. Tabel hasil pengujian dari seluruh threshold	55
4.9. Tabel hasil perhitungan Akurasi, Presisi, Recall, FPR	55

BAB 1

PENDAHULUAN

Penelitian ini di latar belakang oleh berbagai kondisi yang menjadi acuan. Selain itu juga terdapat beberapa permasalahan yang akan dijawab sebagai luaran dari penelitian.

1.1. Latar Belakang

Anatomi tubuh manusia dilihat dalam lingkup umum, sekilas tidak memiliki perbedaan antara satu individu dengan yang lain. Bagian tubuh seperti tangan, kaki, mata hidung, telinga, dan bagian tubuh lainnya yang terlihat langsung pasti terdapat pada semua individu normal. Namun, apabila diteliti lebih spesifik, terdapat banyak atribut yang ada pada tubuh manusia, terletak pada bagian – bagian tubuh yang telah disebutkan tersebut, yang memiliki karakteristik khusus, dan secara eksklusif hanya dimiliki pada bagian tubuh tersebut. Keunikan yang dimiliki oleh bagian tubuh tersebut memberikan ‘identitas’ pada individu yang memilikinya, sehingga sesama manusia mampu membedakan antar satu dengan yang lainnya.

Biometrik merupakan bidang yang secara spesifik mempelajari karakteristik khusus yang dapat digunakan sebagai metode identifikasi individu. Mulai dari pola iris, bentuk sidik jari, retina, ukuran tangan dan berbagai atribut tubuh lainnya yang dapat digunakan sebagai data untuk memvalidasi identitas seseorang. Diantara semua teknik biometric, identifikasi berbasis sidik jari adalah metode yang paling populer, dan telah berhasil digunakan di banyak aplikasi. Melakukan identifikasi sidik jari biasanya menggunakan metode mencocokkan gambar yang sama. Dimana *swirl* sidik jari diproses menjadi gambar, lalu garis *swirl* sidik jari diidentifikasi dan orientasi garis atau banyaknya garis dihitung. Hasil proses tersebut kemudian disimpan sebagai *feature* dari bagian tubuh tersebut, lalu di korelasikan dengan orang yang bersangkutan. Metode pencocokan gambar masih menuai banyak kekurangan terutama ketika input gambar sidik jari kurang jelas. Kerusakan gambar input bisa berupa

keadaan ujung jari yang tidak terduga saat pengambilan gambar seperti ujung jari basah karena keringat, ujung jari yang tidak tepat di tengah sensor, ujung jari yang miring dari sensor, ujung jari yang terburu-buru saat pengambilan gambar dan lain sebagainya.

Melalui tugas akhir ini, di harapkan dengan menggunakan metode pendekatan baru dapat tetap melakukan identifikasi walaupun input gambar sidik jari merupakan gambar dengan kualitas buruk.

1.2. Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut, metode pencocokan gambar masih menuai banyak kekurangan terutama ketika input gambar sidik jari kurang jelas. Kerusakan gambar input bisa berupa keadaan ujung jari yang tidak terduga saat pengambilan gambar, seperti ujung jari basah karena keringat, ujung jari yang tidak tepat di tengah sensor, ujung jari yang miring dari sensor, ujung jari yang terburu-buru saat pengambilan gambar dan lain sebagainya.

1.3. Tujuan

Dari latar belakang dan permasalahan yang ada, maka dirumuskan tujuan dari tugas akhir ini, yaitu:

1. Melakukan uji coba pada metode *Scale Invariant Feature Transform* untuk mengetahui kapasitas (keakuratan, kapasitas maksimal, toleransi eror) dalam verifikasi sidik jari melalui *image processing*.
2. Menghasilkan data yang dapat dilanjutkan sebagai bahan penelitian terkait visi komputer untuk keperluan mendatang.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang timbul dari permasalahan Tugas Akhir ini adalah :

1. Pengambilan citra sidik jari dari alat ZKTeco ZK4500.
2. Resolusi yang digunakan pada kedua gambar yang akan dibandingkan adalah sama.
3. Pengambilan sidik jari berasal dari 20 jari berbeda.

4. Umur koresponden berkisar dari 19 sampai 23 tahun.

1.5. Sistematika Penulisan

Laporan penelitian Tugas akhir ini tersusun dalam sistematika dan terstruktur sehingga mudah dipahami dan dipelajari oleh pembaca maupun seseorang yang ingin melanjutkan penelitian ini. Alur sistematika penulisan laporan penelitian ini yaitu :

1. **BAB I Pendahuluan**
Bab ini berisi uraian tentang latar belakang permasalahan, penegasan dan alasan pemilihan judul, sistematika laporan, tujuan dan metodologi penelitian.
2. **BAB II Dasar Teori**
Pada bab ini berisi tentang uraian secara sistematis teori-teori yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas pada penelitian ini. Teori-teori ini digunakan sebagai dasar dalam penelitian, yaitu informasi terkait metode *Scale Invariant Feature Transform*, sidik jari, dan teori-teori penunjang lainnya.
3. **BAB III Perancangan Sistem dan Implementasi**
Bab ini berisi tentang penjelasan-penjelasan terkait sistem yang dibuat. Guna mendukung itu digunakanlah blok diagram atau work flow agar sistem yang dibuat dapat terlihat dan mudah dibaca untuk implentasi pada pelaksanaan tugas akhir.
4. **BAB IV Pengujian dan Analisa**
Bab ini menjelaskan tentang pengujian yang dilakukan terhadap sistem hasil dari tugas akhir ini dan menganalisa sistem tersebut. Spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan juga disebutkan dalam bab ini. Sehingga ketika akan dikembangkan lebih jauh, spesifikasi perlengkapannya bisa dipenuhi tanpa harus melakukan uji coba perangkat lunak maupun perangkat keras lagi.
5. **BAB V Penutup**
Bab ini merupakan penutup yang berisi kesimpulan yang diambil dari penelitian dan pengujian yang telah dilakukan. Saran dan

kritik yang membangun untuk mengembangkan lebih lanjut juga dituliskan pada bab ini.

1.6. Relevansi

Penelitian mengenai Identifikasi Sidik Jari merupakan bidang penelitian yang penting dalam pengembangan teknologi visi komputer. Pengembangan ini bertujuan untuk menguji *Scale Invariant Feature Transform Image Matching* dalam melakukan identifikasi sidik jari dengan sampel gambar yang mengalami gangguan. Dari penelitian ini dihasilkan data pengujian dan kumpulan gambar sidik jari. Dengan demikian penelitian ini dapat digunakan untuk riset dan penelitian kembali dalam aplikasi visi komputer, biometric ataupun keamanan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Demi mendukung penelitian ini, dibutuhkan beberapa teori penunjang sebagai bahan acuan dan referensi. Dengan demikian penelitian ini menjadi lebih terarah.

2.1. Image Processing

Image processing merupakan metode pengolahan citra digital dengan tujuan untuk mendapatkan informasi yang terdapat dalam citra yang diproses. *Image processing* umumnya dilakukan secara digital karena dapat dilakukan *enhancement* dan manipulasi untuk berbagai keperluan dan perlakuan gambar layaknya matriks memungkinkan adanya pengolahan secara matematis. Prosedur *image processing* umumnya terdiri dari tiga tahap:

1. Akuisisi gambar, dapat dilakukan melalui *scanning* atau fotografi digital.
2. Pemrosesan lebih lanjut pada gambar seperti *enhancement*, kompresi data, penemuan pola-pola tertentu yang tidak dapat dilihat secara kasat mata, dan pemrosesan lain sesuai kebutuhan.
3. *Output* berupa bentuk akhir gambar yang merepresentasikan data dan/atau data yang didapatkan selama pengolahan gambar.

Seperti yang telah dijelaskan di atas, jenis pemrosesan yang dapat dilakukan pada gambar beragam, namun, manipulasi gambar utamanya difungsikan untuk ekstraksi gambar dan ekstraksi informasi yang diperlukan. *Image processing* merupakan bidang penelitian yang memiliki perkembangan yang signifikan dan masih berlangsung hingga saat ini. Ini dikarenakan penggunaannya yang fleksibel dan dapat memenuhi bermacam kebutuhan.

2.2. Biometrik

Biometrik merupakan bidang keilmuan yang spesifik mempelajari karakteristik tubuh manusia, serta fitur yang terdapat di

dalamnya untuk kemudian digunakan sebagai data untuk identifikasi. Hasil identifikasi tersebut akan kemudian digunakan sesuai dengan keperluan bidang tertentu. Persyaratan sebuah karakteristik yang didapatkan bisa digunakan sebagai data hasil pengukuran biometrik adalah sebagai berikut:

1. *Universality*: setiap individu yang diteliti harus memiliki karakteristik yang sama (contohnya: memiliki organ tubuh normal seperti mata, dua lengan, dua kaki, sepuluh jari utuh, dan sejenisnya).
2. *Distinctiveness*: antar dua individu harus memiliki derajat perbedaan tertentu antar satu dengan yang lain terkait karakteristik yang diteliti (Kedua subjek boleh sama-sama memiliki retina atau fingerprint, namun fingerprint atau retina milik masing-masing individu tersebut tidak boleh sama).
3. *Permanence*: karakteristik yang diteliti harus bersifat invariant (tidak berubah selama waktu penelitian).
4. *Collectability*: karakteristik yang diteliti harus dapat diukur secara kuantitatif.

Berdasarkan persyaratan yang telah disebutkan di atas, dapat dikelompokkan bagian tubuh manusia yang dapat digunakan untuk analisa biometrik, Hingga saat ini, penelitian biometrik meliputi:

1. DNA
2. Wajah
3. Thermogram
4. Gait (pola langkah)
5. Geometri Tangan dan Sidik Jari
6. Tanda Tangan
7. Suara
8. Iris
9. Retina

2.3. Sistem Biometrik

Sistem biometric pada dasarnya merupakan system pengenalan pola yang mengenali seseorang dengan menentukan keaslian fisiologis

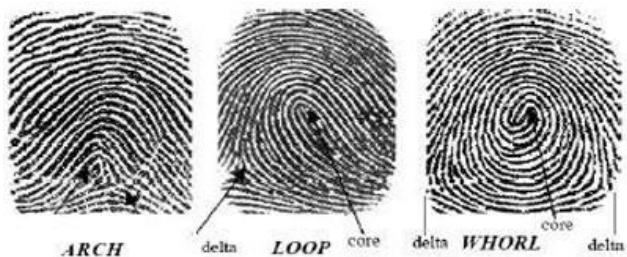
khusus atau karakteristik yang dimiliki oleh orang. Persoalan utama dalam membuat sistem biometrik yang praktis ialah bagaimana menentukan seseorang untuk dikenali. Bergantung pada aplikasi yang digunakan, sistem biometrik mungkin dapat disebut sebagai Sistem Verifikasi atau Sistem Identifikasi :

1. Sistem Verifikasi : membuktikan identitas seseorang dengan membandingkan karakteristik biometric yang ditangkap dengan template biometric yang dimiliki sebelum disimpan kedalam system.
2. Sistem Identifikasi : pengenalan seseorang dengan mencari seluruh template database untuk dicocokkan. Itu diatur satu hingga banyak perbandingan menentukan identitas dari seseorang. Dalam system identifikasi, system menentukan identitas subjek (atau rusak jika subjek tidak terdaftar kedalam system database) tanpa subjek mempunyai hak identitas.

Istilah autentifikasi juga seringkali digunakan dalam bidang biometrik. Terkadang seperti sinonim dari verifikasi. Kenyataannya dalam Bahasa teknologi informasi, autentifikasi user membiarkan system mengetahui tanpa menghiraukan identitas user dari cara (verifikasi atau identifikasi).

2.4. Sidik Jari

Sidik jari adalah hasil reproduksi tapak jari baik yang sengaja diambil, dicapkan dengan tinta, maupun bekas yang ditinggalkan pada benda karena pernah tersentuh kulit telapak tangan atau kaki. Kulit telapak adalah kulit pada bagian telapak tangan mulai dari pangkal pergelangan sampai kesemua ujung jari, dan kulit bagian dari telapak kaki mulai dari tumit sampai ke ujung jari yang mana pada daerah tersebut terdapat garis halus menonjol yang keluar satu sama lain yang dipisahkan oleh celah atau alur yang membentuk struktur tertentu. Fungsinya adalah untuk memberi gaya gesek lebih besar agar jari dapat memegang benda-benda lebih erat[8].



Gambar 2.1: Pola dasar sidik jari

Sidik jari manusia digunakan untuk keperluan identifikasi karena tidak ada dua manusia yang memiliki sidik jari persis sama. Pola sidik jari selalu ada dalam setiap tangan dan bersifat permanen. Dalam artian, dari bayi hingga dewasa pola itu tidak akan berubah sebagaimana garis tangan. Setiap jari pun memiliki pola sidik jari berbeda. Ada empat pola dasar Dermatoglyphic tentang sidik jari yang perlu diketahui, yakni Whorl atau Swirl, Arch, Loop, dan Triradius. Selain itu hanyalah variasi dari kombinasi keempat pola ini[8].

2.5. Kriteria Pengambilan Gambar Sidik Jari

Terdapat beberapa kriteria yang perlu diperhatikan dalam pengambilan gambar digital sidik jari, antara lain:

2.5.1. Resolusi

Sebuah indikasi jumlah titik atau pixel per inch (dpi), 500 dpi merupakan resolusi minimum pada scanner FBI dan banyak ditemui pada alat komersial antara 250 sampai 300 dpi mungkin resolusi minimum yang boleh algoritma ekstraksi untuk menempatkan minutiae dalam pola sidik jari. Minutiae memainkan peran utama dalam pencocokan sidik jari, pencocokan sidik jari, semenjak banyak dari algoritma yang bergantung pada kebetulan dari minutiae yang menerangkan apakah kesan dua sidik jari adalah sidik jari yang sama. Gambar dibawah menunjukkan contoh bagian sidik jari yang sama pada perbedaan resolusi, pengurangan hasil resolusi dalam besarnya kesulitan dalam memecahkan ridge dari valley dan pemisahan titik minutiae.



Gambar 2.2: Resolusi sidik jari

2.5.2. Area

Jika area sidik jari yang diambil besar maka banyak ridges dan valeys yang tertangkap dan khusus menjadi sidik jari. Sebuah area $\geq 1 \times 1$ inch² mengizinkan sebuah daerah sidik jari yang diperoleh. Dalam banyak scanner sidik jari yang baru-baru ini ditujukan pada scanner bukan AFIS, local features yang diambil pada scanner dikorbankan untuk mengurangi biaya dan punya ukuran alat yang kecil.

2.5.3. Piksel

Angka dari piksel dalam gambar sidik jari dapat disederhanakan, dimana perhitungan didapat dari resolusi dan daerah sidik jari. Misalkan scanner bekerja pada r dpi melalui daerah tinggi(h) x lebar(w) inch² mempunyai $r_h \times r_w$ PIKSEL. Jika daerah dinyatakan dalam mm² formula harus termasuk konversi mm-inch dan karena angka pixel: $r(h/25.4) \times r(w/25.4)$.

Sebagai contoh, scanner bekerja pada 500 dpi melalui daerah 20.32x15.24 mm² menghasilkan gambar $500(20.32/25.4) \times 500(15.24/25.24) = 400 \times 300$ pixel.

2.5.4. Jarak Dinamis

Ini menunjukkan angka dari bits yang digunakan untuk sandi nilai intensitas dari tiap pixel. Informasi warna tidak dipertimbangkan guna untuk pengenalan sidik jari, dan karena hampir semua scanner sidik jari yang tersedia memperoleh gambar gray-scale. Standar FBI untuk lebar bit pixel adalah 8 bits, yang menghasilkan 256 tingkat abu-abu.

2.5.5. Ketelitian Geometris

Menunjukan lokasi x dan y dari pixel yang didapatkan dari hasil posisi sidik jari yang akan digunakan dalam pengolahan sidik jari. Citra sidik jari memiliki lokasi geometris yang ditunjukan dalam bentuk piksel dengan lokasi geometris x dan y. Dimana x menjelaskan baris dari lokasi piksel sidik jari dan y menunjukkan kolom dari lokasi piksel sidik jari.

Gambar 2.3 menunjukan citra asli dari sidik jari. Citra sidik jari tersebut memiliki ukuran 280 x 360, yang berarti citra tersebut memiliki lokasi x sebanyak 280 dan lokasi piksel y sebanyak 360, sebagaimana terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.3: Citra sidik jari.

	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	
348248	251	253	253	253	251	248	247	245	248	248	250	252	253		^
350249	252	254	253	252	251	249	247	246	248	250	251	252	253		
351252	252	254	253	252	249	247	246	246	249	250	252	253	253		
352252	253	254	252	251	248	245	245	248	250	251	252	253	254		
353252	254	253	252	250	247	245	246	249	250	252	253	253	254		
354254	254	252	252	250	245	245	247	250	251	252	253	254	254		
355254	252	251	251	246	246	246	248	251	252	253	253	254	254		
356253	252	251	250	247	245	248	249	251	252	253	254	254	254		
357253	252	251	248	246	247	250	250	251	252	253	254	254	254		
358253	252	251	247	246	248	250	251	252	252	253	254	254	254		
359251	251	250	248	247	249	251	251	252	252	253	254	254	254		
360252	251	248	247	247	249	251	251	252	253	254	254	254	254		
361															v
362															

Gambar 2.4: Tampilan Pixel dari sidik jari.

2.5.6. Kualitas Gambar

Ini tidak mudah untuk mendefinisikan dengan tepat kualitas dari gambar sidik jari, dan lebih sulit lagi untuk tidak dipasangkan dengan kualitas gambar sidik jari dari kualitas atau status jari intrinsik. Kenyataannya ketika ketinggian ridge ialah sangat rendah (khususnya untuk pekerjaan manual dan orang tua) ketika jari terlalu basah atau terlalu kering, atau ketika mereka menyajikan yang salah, kebanyakan dari scanner menghasilkan kualitas gambar yang jelek.



Gambar 2.5: Contoh citra sidik jari yang diperoleh dari scanner optic: Kanan, sidik jari kualitas bagus. Kiri, sidik jari dalam keadaan kering.

Karena setiap pengambilan gambar sidik jari selalu mempunyai noise, namun kadarnya bisa kita atur sedemikian rupa sehingga nilainya tidak terlalu besar. Sehingga dalam pengolahannya dapat mempercepat pengolahan data yang diinginkan (dengan kata lain hasil yang maksimal dengan noise yang diabaikan.)

2.6. *Scale Invariant Feature Transform (SIFT)*

Jadi, pada tahun 2004, D.Lowe, University of British Columbia, menghasilkan sebuah algoritma baru, *Scale Invariant Feature Transform*

(SIFT) dalam makalahnya, *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*, yang mengekstrak titik kunci dan menghitung deskriptornya.

Mencocokkan fitur di seluruh gambar berbeda dalam masalah umum dalam visi komputer. Ketika semua gambar serupa di alam (skala yang sama, orientasi, dll) detektor sudut sederhana dapat bekerja. Tetapi ketika Anda memiliki gambar skala dan rotasi yang berbeda, Anda harus menggunakan Scale Invariant Feature Transform (SIFT).

SIFT bukan hanya skala invarian. Anda dapat mengubah hal yang berikut ini, dan masih mendapatkan hasil yang baik: Skala, Rotasi, Penerangan dan Sudut Pandang.



Gambar 2.6: Inilah contohnya. Ini adalah gambar yang akan dicari.



Gambar 2.7: Dan kami ingin menemukan benda-benda pada gambar 2.6 dalam gambar ini:



Gambar 2.8: hasil pencariannya.

Gambar persegi panjang besar menandai gambar yang cocok. Kotak yang lebih kecil untuk masing-masing fitur di daerah tersebut. Perhatikan bagaimana persegi panjang besar miring. Mereka mengikuti orientasi dan perspektif objek di gambar 2.8.

SIFT adalah algoritma yang cukup terlibat. Ini memiliki banyak hal yang terjadi dan dapat membingungkan, Jadi saya telah membagi seluruh algoritma menjadi beberapa bagian. Berikut ini garis besar tentang apa yang terjadi dalam SIFT.

2.6.1. Membangun ruang skala

Ini adalah persiapan awal. Anda membuat representasi internal dari gambar asli untuk memastikan skala invarian. Ini dilakukan dengan menghasilkan "ruang skala".

Objek dunia nyata hanya bermakna pada skala tertentu. Kita mungkin melihat gula batu dengan sempurna di atas meja. Tetapi jika melihat dari keseluruhan Bima Sakti, maka gula itu sama sekali tidak ada. Sifat multi-skala dari benda-benda ini cukup umum di alam. Dan skala ruang mencoba untuk mereplikasi konsep ini pada gambar digital.

Apakah Anda ingin melihat daun atau seluruh pohon? Jika itu adalah pohon, singkirkan beberapa detail dari gambar (seperti daun, ranting, dll) dengan sengaja. Saat menyingkirkan detail ini, Anda harus memastikan bahwa Anda tidak memperkenalkan detail palsu yang baru. Satu-satunya cara untuk melakukannya adalah dengan Gaussian Blur. So to create a scale space, you take the original image and generate progressively blurred out images. Here's an example:

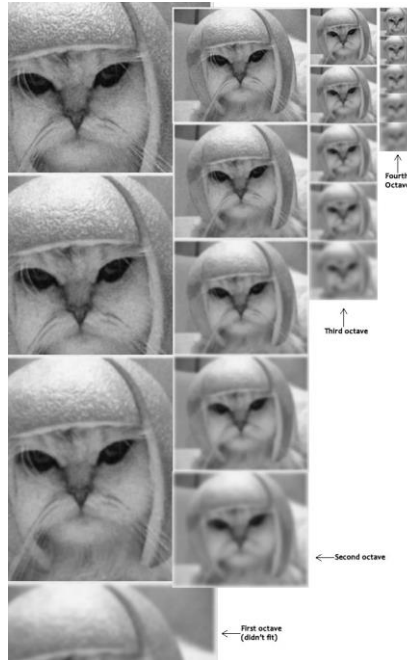


Gambar 2.9: hasil Gaussian Blur.

Lihatlah bagaimana helm kucing kehilangan detail. Begitu juga kumisnya.

SIFT mengambil ruang skala ke tingkat berikutnya. Anda mengambil gambar asli, dan menghasilkan gambar yang semakin kabur. Kemudian, Anda mengubah ukuran gambar asli menjadi setengah ukuran.

Dan Anda menghasilkan gambar yang kabur lagi. Dan Anda terus mengulangnya.



Gambar 2.10: Contoh Difference of Gaussian Blur.

Gambar dengan ukuran yang sama (vertikal) membentuk satu oktaf. Di atas adalah empat oktaf. Setiap oktaf memiliki 5 gambar. Citra individu dibentuk karena meningkatnya "skala" (jumlah blur).

Jumlah oktaf dan skala tergantung pada ukuran gambar aslinya. Saat memrogram SIFT, Anda harus memutuskan sendiri berapa banyak oktaf dan skala yang Anda inginkan. Namun, pencipta SIFT menunjukkan bahwa 4 oktaf dan 5 tingkat blur sangat ideal untuk algoritmanya.

Jika gambar asli digandakan dalam ukuran dan mengaburkannya maka algoritma menghasilkan lebih empat kali lebih keypoints. Semakin banyak keypoints, semakin baik.

Secara matematis, "blurring" disebut sebagai konvolusi operator gaussian dan gambar. Gaussian blur memiliki ekspresi tertentu atau "operator" yang diterapkan ke setiap piksel. Hasilnya adalah gambar yang buram.

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y)$$

L adalah gambar yang buram

G adalah operator Gaussian Blur

I adalah gambar

x,y adalah koordinat lokasi

σ adalah parameter "skala". Anggap saja sebagai jumlah blur. Semakin besar nilainya, semakin buram.

* adalah operasi konvolusi dalam x dan y.

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$

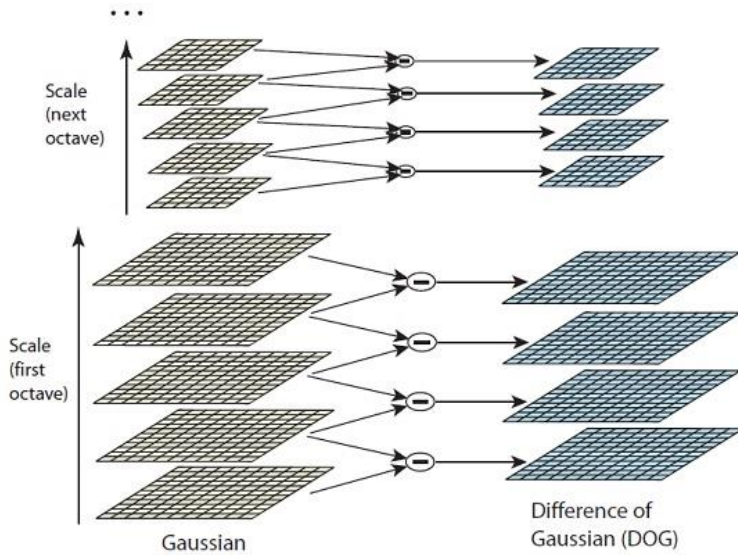
Ini adalah operator Gaussian Blur yang sebenarnya.

2.6.2. Laplacian of Gaussian (LoG) Approximations

Laplacian of Gaussian sangat bagus untuk menemukan poin yang menarik (atau keypoint penting) dalam sebuah gambar. Sekarang menggunakan gambar buram tersebut untuk menghasilkan kumpulan gambar lain, Difference of Gaussians (DoG). Gambar-gambar DoG ini sangat bagus untuk menemukan poin-poin penting yang menarik dalam gambar.

Operasi Laplacian of Gaussian (LoG) berjalan seperti ini. Anda mengambil gambar, dan mengaburkannya sedikit. Dan kemudian, Anda menghitung turunan orde kedua di atasnya (atau, "laplacian"). Ini mendapatkan ujung dan sudut pada gambar. Tepian dan sudut ini baik untuk menemukan keypoints. Namun turunan orde kedua sangat sensitif terhadap noise. Blur memuluskannya dari noise dan menstabilkan turunan orde kedua.

Untuk menghasilkan gambar Laplacian of Gaussian dengan cepat, kami menggunakan ruang skala. Kami menghitung selisih antara dua skala berturut-turut. Atau, Perbedaan Gaussians. Begini caranya:



Gambar 2.11: Piramida Difference of Gaussian Blur.

Perbedaan gambar Gaussian ini kurang lebih setara dengan Laplacian of Gaussian. Dan kami telah mengganti proses komputasi secara intensif dengan pengurangan sederhana (cepat dan efisien). Gambar-gambar DoG ini hadir dengan sedikit keuntungan lainnya. Pendekatan ini juga "scale invariant".

Gambar Laplacian of Gaussian yang tidak bagus. Mereka bukan skala invarian. Artinya, mereka bergantung pada jumlah blur yang Anda lakukan. Ini karena ekspresi Gaussian.

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$

Lihat σ^2 di penyebutnya? Itu skalanya. Jika kita menyingkirkannya, kita akan memiliki skala kemandirian yang sebenarnya. Jadi, jika laplacian dari gaussian direpresentasikan seperti ini:

$$\nabla^2 G$$

Kemudian skala laplacian invarian gaussian akan terlihat seperti ini:

$$\sigma^2 \nabla^2 G$$

Tetapi semua kerumitan ini diurus oleh operasi Difference of Gaussian. Gambar yang dihasilkan setelah operasi DoG sudah dikalikan dengan σ^2 . Dan juga telah terbukti bahwa skala invarian ini menghasilkan poin yang dapat dilacak yang jauh lebih baik.

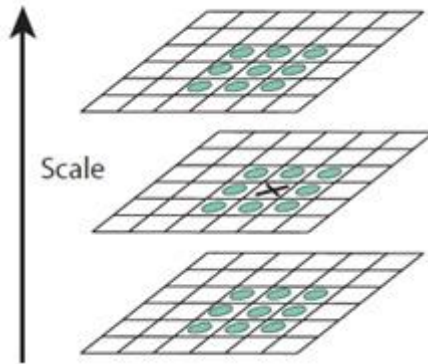
Dua gambar berurutan dalam satu oktaf diambil dan yang satu dikurangi dari yang lain. Kemudian pasangan berikutnya berturut-turut diambil, dan prosesnya berulang. Ini dilakukan untuk semua oktaf. Gambar yang dihasilkan adalah perkiraan skala laplacian invarian gaussian (yang baik untuk mendeteksi keypoints). Ada beberapa "kelemahan" karena pendekatan, tetapi mereka tidak akan mempengaruhi algoritma.

2.6.3. Mencari Keypoint

Menemukan Keypoint memiliki dua langkah proses yaitu, menemukan maxima / minma dalam gambar DoG, dan mencari subpixel maxima / minima.

2.6.3.1. Temukan maxima / minima dalam gambar DoG

Langkah pertama adalah menemukan maxima dan minima secara kasar. Ini sederhana. Anda iterasi melalui setiap piksel dan periksa semua tetangganya. Pemeriksaan dilakukan dalam gambar saat ini, dan juga yang di atas dan di bawahnya. Sesuatu seperti ini:

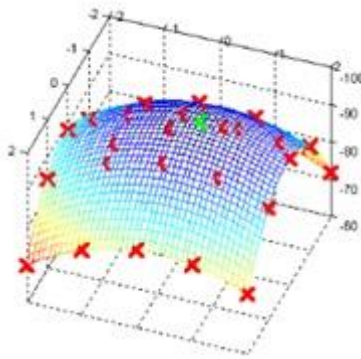


Gambar 2.12: Mencari maxima/minima pada gambar DoG.

X menandai piksel saat ini. Lingkaran hijau menandai tetangga. Dengan cara ini, total 26 cek dibuat. X ditandai sebagai "titik kunci" jika itu adalah yang terbesar atau paling sedikit dari 26 tetangga.

Biasanya, posisi non-maxima atau non-minima tidak harus melalui semua 26 pemeriksaan. Beberapa pemeriksaan awal biasanya cukup untuk membuangnya. Perhatikan bahwa keypoint tidak terdeteksi pada skala paling bawah dan paling atas. Tidak ada cukup tetangga untuk melakukan perbandingan. Jadi lewati saja.

Setelah ini selesai, poin yang ditandai adalah perkiraan maxima dan minimum. Mereka adalah "perkiraan" karena maxima / minima hampir tidak pernah terletak tepat pada pixel. Itu terletak di suatu tempat di antara pixel. Tetapi kita tidak bisa mengakses data "di antara" piksel. Jadi, kita harus secara matematis menemukan lokasi subpiksel.



Gambar 2.13: Letak kira-kira maxima / minima

Tanda silang merah menandai piksel dalam gambar. Tetapi titik ekstrim yang sebenarnya adalah yang hijau.

2.6.3.2. Mencari subpixel maxima / minima.

Menggunakan data piksel yang tersedia, nilai-nilai subpiksel dihasilkan. Hal ini dilakukan oleh ekspansi Taylor dari gambar di sekitar titik kunci perkiraan. Secara matematis, seperti ini:

$$D(x) = D + \frac{\partial D^T}{\partial x} x + \frac{1}{2} x^T \frac{\partial^2 D}{\partial x^2} x$$

Kita dapat dengan mudah menemukan titik ekstrim dari persamaan ini (membedakan dan menyamakan dengan nol). Saat menyelesaikan, kita akan mendapatkan lokasi titik kunci subpiksel. Nilai-nilai subpiksel meningkatkan kemungkinan pencocokan dan stabilitas algoritma.

2.6.4. Menyingkirkan keypoint kontras rendah

Pada langkah ini, jumlah keypoint dikurangi. Ini membantu meningkatkan efisiensi dan juga ketangguhan algoritma. Keypoints ditolak jika mereka memiliki kontras rendah atau jika mereka berada di tepi.

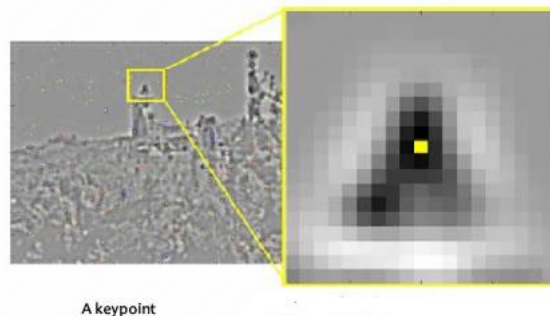
Ini sederhana. Jika besarnya intensitas (yaitu, tanpa tanda) pada pixel saat ini dalam gambar DoG (yang sedang diperiksa untuk minima / maxima) kurang dari nilai tertentu, itu ditolak.

Karena memiliki subpixel keypoint, kami kembali perlu menggunakan ekspansi taylor untuk mendapatkan nilai intensitas di lokasi subpixel. Jika besarnya kurang dari nilai tertentu, akan menolak keypoint tersebut.

2.6.5. Keypoint Orientation

Setelah kita memiliki keypoint yang sah. Mereka telah diuji untuk menjadi stabil. Kita sudah tahu skala dimana keypoint terdeteksi (itu sama dengan skala gambar yang kabur). Jadi kami memiliki skala invarian. Hal berikutnya adalah menetapkan orientasi ke setiap titik kunci. Orientasi ini menyediakan invarian rotasi. Semakin banyak invarian, semakin baik.

Idenya adalah untuk mengumpulkan arah dan magnitude gradien di sekitar setiap keypoint. Lalu kami mencari orientasi yang paling menonjol di wilayah itu. Dan kami menetapkan orientasi ini ke keypoint. Perhitungan selanjutnya dilakukan relatif terhadap orientasi ini. Ini memastikan invarian rotasi.

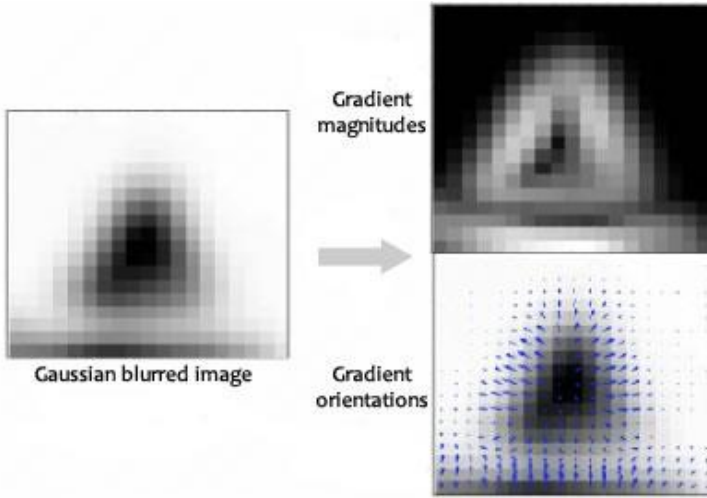


A keypoint

Gambar 2.14: Gambar satu keypoint

Ukuran "wilayah pengumpulan orientasi" di sekitar keypoint bergantung pada skalanya. Semakin besar skalanya, semakin besar wilayah pengumpulannya.

Sekarang untuk detail kecil tentang mengumpulkan orientasi.



Gambar 2.15: Gambar gradient orientation

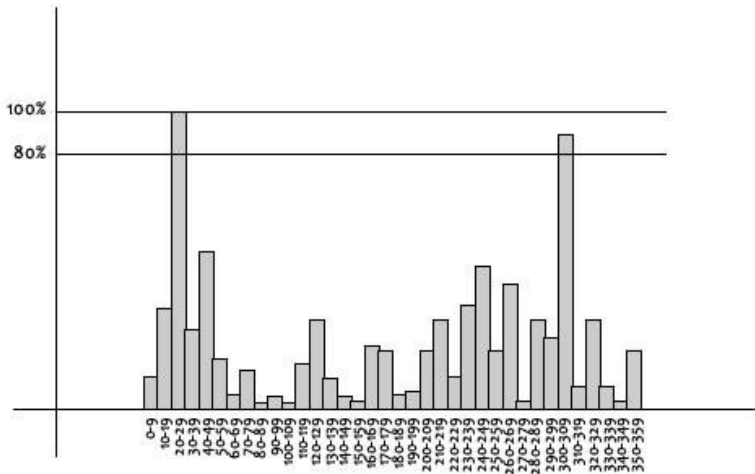
Besaran dan orientasi gradien dihitung menggunakan rumus ini:

$$m(x, y) = \sqrt{(L(x + 1, y) - L(x - 1, y))^2 + (L(x, y + 1) - L(x, y - 1))^2}$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1}((L(x, y + 1) - L(x, y - 1)) / (L(x + 1, y) - L(x - 1, y)))$$

Besaran dan orientasi dihitung untuk semua piksel di sekitar keypoint. Kemudian, Histogram dibuat untuk ini. Dalam histogram ini, orientasi 360 derajat dipecah menjadi 36 keranjang (masing-masing 10 derajat). Katakanlah arah gradien pada titik tertentu (di "wilayah pengumpulan orientasi") adalah 18,759 derajat, maka akan masuk ke dalam 10-19 derajat bin. Dan "jumlah" yang ditambahkan ke keranjang sebanding dengan besarnya gradien pada titik tersebut. Setelah

melakukan ini untuk semua piksel di sekitar keypoint, histogram akan memiliki puncak di beberapa titik.



Gambar 2.16: Gambar histogram gradient orientation

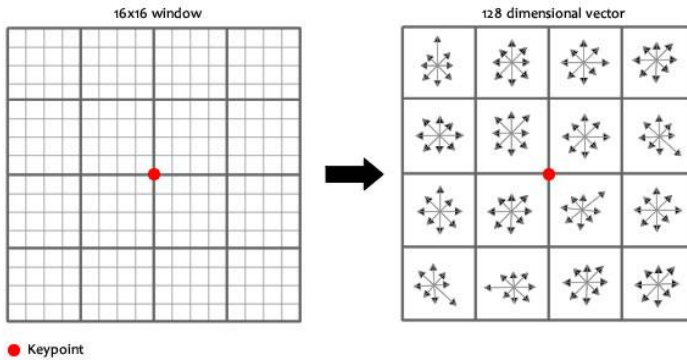
Pada gambar 2.16, Anda melihat puncak histogram pada 20-29 derajat. Jadi, keypoint diberikan orientasi 3 (bin ketiga). Juga, setiap puncak di atas 80% dari puncak tertinggi diubah menjadi keypoint baru. Keypoint baru ini memiliki lokasi dan skala yang sama dengan aslinya. Tapi orientasinya sama dengan puncak lainnya. Jadi, orientasi dapat membagi satu keypoint ke dalam beberapa keypoints.

2.6.6. Menghasilkan fitur

Sekarang buat fitur untuk setiap keypoint. Ini untuk mengidentifikasi keypoint. Dengan begitu kita akan dapat membedakannya dari keypoint lainnya,

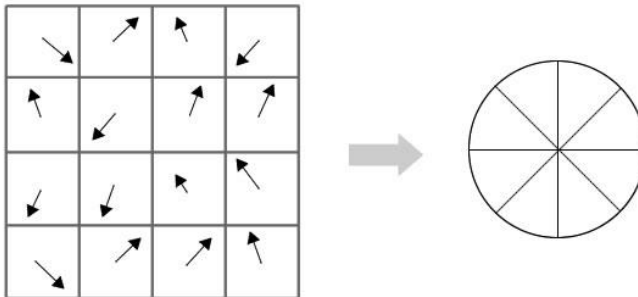
Idenya adalah kami ingin menghasilkan fitur yang sangat unik untuk keypoint. Ini harus mudah dihitung. Kami juga ingin itu relatif toleran ketika dibandingkan dengan keypoints lainnya. Hal-hal tidak pernah sama persis ketika membandingkan dua gambar yang berbeda.

Untuk melakukan ini, jendela 16x16 di sekitar keypoint. Jendela 16x16 ini dipecah menjadi enam belas 4x4 jendela.



Gambar 2.17: Gambar keypoint dengan feature

Dalam setiap jendela 4x4, besaran dan orientasi gradien dihitung. Orientasi ini dimasukkan ke dalam histogram 8 bin.



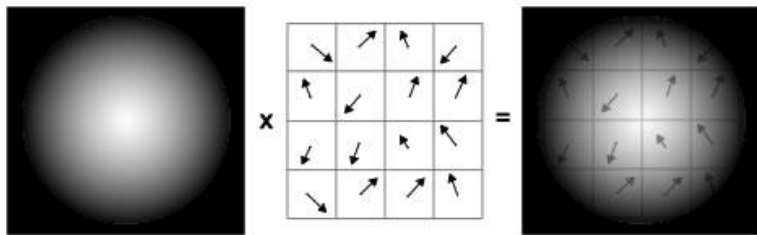
Gambar 2.18: Gambar SIFT 4x4

Orientasi gradien apa pun dalam rentang 0-44 derajat ditambahkan ke keranjang pertama. 45-89 tambahkan ke keranjang

berikutnya. Dan seterusnya. Dan (seperti biasa) jumlah yang ditambahkan ke nampun tergantung pada besarnya gradien.

Tidak seperti sebelumnya, jumlah yang ditambahkan juga tergantung pada jarak dari keypoint. Jadi gradien yang jauh dari keypoint akan menambahkan nilai yang lebih kecil ke histogram.

Ini dilakukan dengan menggunakan "fungsi pembobotan gaussian". Fungsi ini hanya menghasilkan gradien (seperti kurva lonceng 2D). Anda mengalikannya dengan besarnya orientasi, dan Anda mendapatkan sesuatu yang berbobot. Semakin jauh, semakin kecil magnitudo.



Gambar 2.19: Gambar SIFT gaussian weighting function

Melakukan ini untuk semua 16 piksel, Anda akan sudah "mengkompilasi" 16 orientasi acak ke 8 keranjang yang telah ditentukan. Anda melakukan ini untuk semua enam belas wilayah 4x4. Jadi Anda berakhir dengan $4 \times 4 \times 8 = 128$ angka. Setelah Anda memiliki 128 angka, Anda menormalkannya (seperti Anda akan menormalkan vektor di sekolah, dibagi dengan akar jumlah kuadrat). 128 angka ini membentuk "vektor fitur". Keypoint ini diidentifikasi secara unik oleh vektor fitur ini.

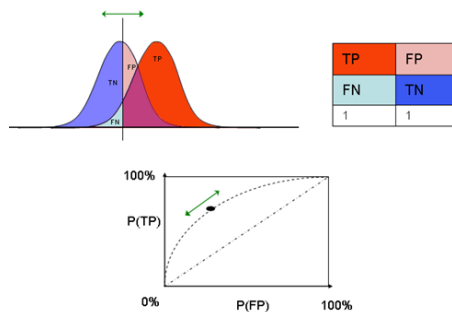
Seperti terlihat pada gambar 2.19, keypoint terletak di "di antara". Itu tidak terletak persis pada sebuah pixel. Itu karena memang tidak. Jendela 16x16 mengambil orientasi dan besaran gambar "di antara" piksel. Jadi Anda perlu melakukan interpolasi gambar untuk menghasilkan data orientasi dan magnitudo "di antara" piksel.

Jadi, mengambil jendela 16x16 "di antara" piksel di sekitar keypoint. membagi jendela itu menjadi enam belas 4x4 jendela. Dari setiap jendela 4x4, menghasilkan histogram 8 kotak. Setiap bin sesuai dengan 0-44 derajat, 45-89 derajat, dll. Orientasi Gradien dari 4x4 dimasukkan ke dalam tempat sampah ini. Ini dilakukan untuk semua blok 4x4. Akhirnya, menormalkan 128 nilai yang di dapatkan.

2.7. Receiver Operating Characteristic

Receiver Operating Characteristic atau kurva ROC adalah adalah plot grafis yang menggambarkan kinerja sistem *classifier* biner sebagai ambang batas diskriminasi yang bisa bervariasi. Kurva dibuat dengan memplot *True Positive Rate* (TPR) terhadap *False Positive Rate* (FPR) di berbagai pengaturan ambang batas. *True Positive Rate* juga di kenal sebagai sensitivitas atau probabilitas deteksi[2]. *False Positive Rate* juga dikenal sebagai *fall-out* atau probabilitas alarm palsu.

Kurva ROC demikian sensitivitas sebagai fungsi dari jatuh-out. Secara umum, jika distribusi probabilitas untuk kedua deteksi dan alarm palsu diketahui, kurva ROC dapat dihasilkan dengan memplot fungsi distribusi kumulatif (area di bawah distribusi probabilitas dari $-\infty$ untuk diskriminasi threshold) dari probabilitas deteksi di sumbu y versus fungsi distribusi kumulatif dari probabilitas alarm palsu di x-axis.



Gambar 2.20: Kurva ROC

Mari kita mempertimbangkan masalah dua kelas prediksi (klasifikasi biner), dimana hasil diberi label baik sebagai positif (p) atau negatif (n). Ada empat kemungkinan hasil dari classifier biner. Jika hasil dari prediksi adalah p dan nilai sebenarnya juga p, maka disebut *True Positive* (TP); namun jika nilai aktual adalah n maka dikatakan *False Positive* (FP). Sebaliknya, *True Negative* (TN) telah terjadi ketika kedua hasil prediksi dan nilai sebenarnya n, dan *False Negative* (FN) adalah ketika hasil prediksi adalah n sedangkan nilai sebenarnya p.

Untuk membaca kurva ini sangat mudah, kinerja algoritma klasifikasi adalah:

BURUK, jika kurva yang dihasilkan mendekati garis baseline atau garis yang melintang dari titik 0,0.

BAGUS, jika kurva mendekati titik 0,1.

2.8. Penelitian Terkait

Berikut adalah beberapa referensi penelitian mengenai pencocokan sidik jari yang telah ada:

1. **Fingerprint Identification and Verification Using Minutiae Matching**, *F.A Afsar, M. Arif and M. Hussain*. Dalam penelitian ini setelah minutiae sidik jari input dan template dilakukan, dicocokkan perbedaan spasial dan orientasi dari titik-titik minutiae kedua sidik jari.
2. **Fingerprint Identification Using Delaunay Triangulation**, *George Bebis, Taisa Deaconu and Michael Georgiopoulos*. Dalam penelitian ini dilakukan pendekatan identifikasi sidik jari yang terindeks. Digunakan Triangulasi Delaunay untuk menyajikan struktur unik Minutiae.
3. **A Fingerprint Recognition Algorithm Using Phase-Based Image Matching for Low-Quality Fingerprints**, *Koichi Ito, Ayumi Morita, Takafumi Aoki, Tatsuo Higuchi, Hiroshi Nakajima and Koji Kobayashi*. Dijelaskan di penelitian ini penggunaan 2 Dimensi (2D) Discrete Fourier Transform pada citra sidik jari menjadi

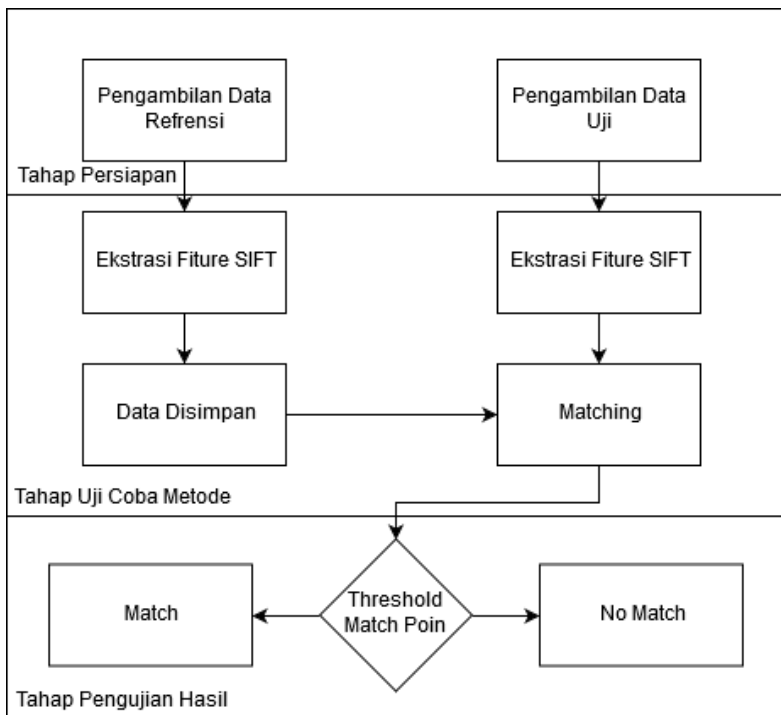
memungkinkan untuk pengidentifikasian citra sidik jari dengan kualitas rendah.

4. **A Fingerprint Recognition Algorithm Combining Phase-Based Image Matching and Feature-Based Matching.** *Koichi Ito, Ayumi Morita, Takafumi Aoki, Tatsuo Higuchi, Hiroshi Nakajima and Koji Kobayashi.* Dalam penelitian ini dilakukan penggabungan pencocokan Phase-Based Image dan pencocokan Feature-Based, dengan tujuan untuk mencapai pengenalan sidik jari yang lebih efisien. Tahap pertama pencocokan adalah dengan cara mencocokkan citra sidik jari input dengan template-nya berdasarkan feature-nya, yang mereka bagi dalam 7 kategori: “Arch”, “Left Loop”, “Right Loop”, “Left Loop or Right Loop”, “Arch or Right Loop”, “Arch or Left Loop”, “Others”. Apabila berbeda kategori diberi nilai 0, yang berarti dianggap tidak Match. Apabila kategorinya sama, dilakukan pencocokan tahap kedua menggunakan metode Phase-Band Image Correlation.

BAB 3

DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan desain sistem berikut dengan implementasinya. Desain sistem merupakan konsep dari pembuatan dan perancangan infrastruktur dan kemudian diwujudkan dalam bentuk blok-blok alur yang harus dikerjakan. Alur pengerjaan tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Alur pengerjaan tugas akhir

Tugas akhir ini merupakan salah satu bentuk dari pengolahan citra digital yang tujuannya untuk melakukan uji coba pada metode *Scale-*

Invariant Feature Transform untuk mengetahui kapasitas (keakuratan, kapasitas maksimal, toleransi eror) dalam verifikasi sidik jari melalui pengolahan citra digital. Pengerjaan tugas akhir ini dibagi menjadi 3 tahap.

Tahap pertama merupakan tahap persiapan. Pada tahap ini berisikan persiapan dalam pengambilan data. Data yang dibutuhkan berupa gambar sidik jari. Tahap kedua adalah tahap ujicoba metode. Data gambar sidik jari yang sudah diperoleh dari tahap persiapan diolah menggunakan metode *Scale Invariant Feature Transform*. Dan tahap ketiga merupakan tahap pengujian hasil. Pada tahap ini akan mengklasifikasikan nilai hasil pencocokan menggunakan metode SIFT.

3.1. Tahap Persiapan

Tahap ini berisikan persiapan dalam pengambilan data. Data yang diambil berupa data gambar sidik jari. Berikut adalah penjelasan proses akuisisi data sidik jari menggunakan *fingerprint scanner*.

3.1.1. Alat scan sidik jari

Alat yang digunakan untuk mendapat data sidik jari adalah ZKTeco ZK4500. Perangkat ini memiliki ukuran yang cukup ringkas dengan dimensi 53x80x66 mm dan berat 0,24 kg. Perangkat ini dapat menangkap gambar sidik jari dan mengunggah ke PC melalui antarmuka USB. ZK4500 memiliki sensor berjenis optical buatan ZK dengan area sensor seluas 15x18 mm. Gambar sidik jari yang ditangkap oleh perangkat ini memiliki resolusi 280x360 *pixel* dengan format *BMP*. Bentuk alat scan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2: Fingerprint Reader ZK4500

3.1.2. Cara Pengambilan Sidik Jari

Pengambilan gambar sidik jari dilakukan sesuai kebutuhan untuk pengujian. Terdapat empat scenario pengambilan gambar sidik jari yaitu sidik jari tegak lurus, sidik jari bergeser, sidik jari miring, dan sidik jari ujung jari.

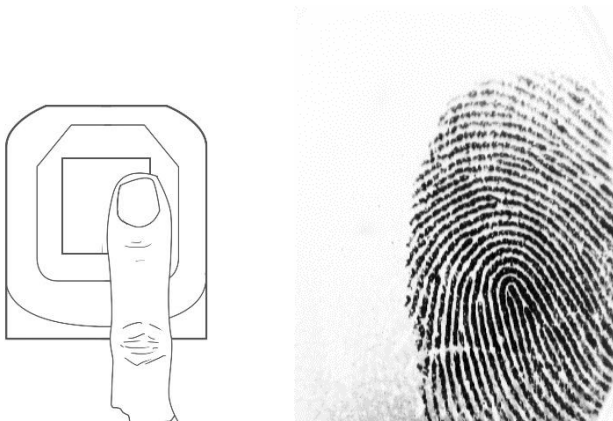
Gambar sidik jari tegak lurus adalah mengambil gambar sidik jari dengan jari yang menempel pada keseluruhan luas sensor scan sehingga menghasilkan gambar sidik jari yang tegak lurus di tengah-tengah gambar. Langkah ini dilakukan untuk mendapatkan gambar sidik jari tanpa gangguan.

Pada Gambar 3.3 dapat dilihat ilustrasi saat pengambilan gambar gambar sidik jari tegak lurus dan hasilnya setelah di ambil gambarnya. Dapat dilihat hasil gambar sidik jari memiliki keseluruhan bentuk unik dari sidik jari tersebut, yaitu sidik jari yang berbentuk loop. Karena diambil tepat di tengah-tengah sensor scan sidik jari, maka tidak ada gambar bagian sidik jari yang terpotong.



Gambar 3.3: Metode pengambilan sidik jari tegak lurus

Gambar sidik jari bergeser yang dimaksud adalah mengambil sidik jari yang menempel pada separuh bagian sensor scan. Sehingga didapatkan gambar sidik jari yang berada di ujung gambar. Langkah ini dilakukan untuk mendapatkan gambar sidik jari yang tidak memiliki posisi yang sama dengan pengambilan pertama. Hasil pengambilan dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4: Metode pengambilan sidik jari tegak geser.

Gambar sidik jari miring yang dimaksud adalah mengambil sidik jari dengan menempelkan jari yang miring secara rotasi sekitar 45° ke sensor scan. Sehingga di dapatkan juga gambar sidik jari yang miring secara rotasi. Langkah ini dilakukan untuk mendapatkan gambar sidik jari yang memiliki gangguan secara rotasi. Ilustrasi dan hasil pengambilan gambar sidik jari dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5: Metode pengambilan sidik jari tegak miring

Pengambilan yang terakhir adalah gambar sidik jari ujung/pucuk jari. Pengambilan sidik jari tersebut dengan cara menempelkan jari pada bagian bawah sensor scan. Atau menempelkan jari pada sensor dalam keadaan terburu-buru. Sehingga didapatkan gambar sidik jari yang kecil. Langkah ini dilakukan untuk mendapatkan gambar sidik jari yang memiliki informasi terpotong. Ilustrasi dan hasil pengambilan gambar sidik jari dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6: Metode pengambilan sidik jari pucuk jari

Untuk memenuhi kebutuhan pengujian dibutuhkan banyak sampel gambar sidik jari. Banyak jari yang diajukan yaitu sebanyak 20 jari. Tiap jari diambil empat metode pengambilan gambar sidik jari. Sehingga terkumpul 80 gambar sidik jari.

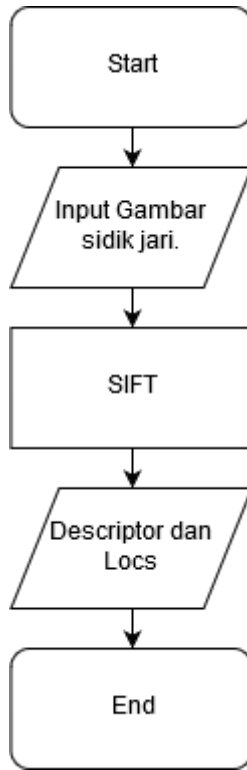
3.2. Tahap Ujicoba Metode

Pada tahap ini semua data telah diperoleh sehingga data tersebut tinggal diolah menggunakan *Scale Invariant Feature Transform*. Pada tahap ujicoba metode ini dibagi menjadi beberapa proses.

3.2.1. Ekstrasi Fitur menggunakan SIFT

Pada subab ini dijelaskan mengenai proses ekstrasi dari gambar sidik jari. Diagram alur ditunjukkan pada Gambar 3.7.

Pada proses ini akan menggunakan fungsi sift di matlab. Fungsi sift akan membaca gambar sidik jari lalu mendapatkan fitur keypoint SIFT gambar sidik jari. Fitur yang didapatkan berupa descriptor dan locs. Data descriptor dan locs tersebut akan disimpan jika sudah didapatkan.



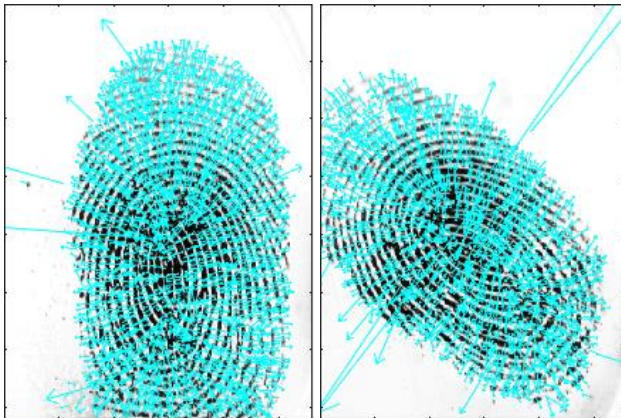
Gambar 3.7: Diagram alur ekstraksi fitur

Descriptor adalah sebuah matriks yang berisikan data matriks $K \times 128$. Dimana K adalah banyak keypoint yang ditemukan. Dimana setiap baris memberikan deskriptor invarian untuk salah satu dari keypoint K .

Sedangkan locs adalah sebuah matriks yang berukuran $K \times 4$. Dimana K adalah banyak keypoint yang ditemukan. Berarti setiap baris atau satu keypoint memiliki 4 nilai untuk lokasi keypoint. Kolom pertama dan kedua berisikan lokasi keypoint. Kolom ketiga berisikan besaran vector keypoint. Dan kolom keempat berisikan sudut atau arah orientasi dari vector.



Gambar 3.8: Input dua gambar sidik jari

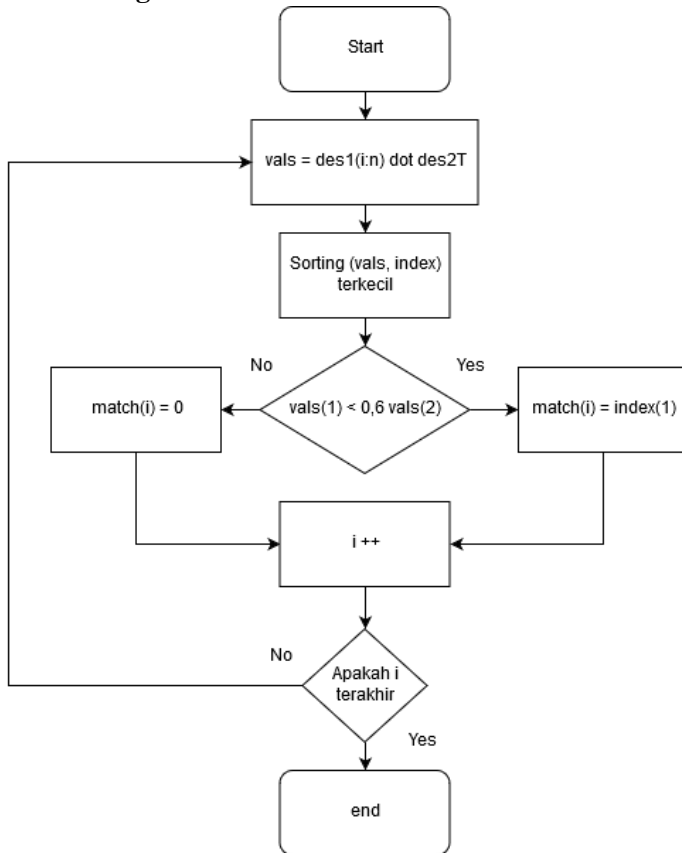


Gambar 3.9: Input dua gambar sidik jari yang telah mendapatkan keypoin.

Pada Gambar 3.8 merupakan gambar sepasang sidik jari inputan. Dan Gambar 3.9 dapat dilihat merupakan gambar sidik jari yang telah dihiparkar vector keypoint. Disini juga dapat dilihat bahwa kedua gambar sidik jari menghasilkan lebih dari 2000 titik keypoint, 2554 dan

2078 titik keypoint lebih tepatnya. Data descriptor dan locs ini yang nantinya bisa digunakan untuk mencocokkan dua gambar sidik jari.

3.2.2. Matching



Gambar 3.10: Diagram alur pencocokan gambar sidik jari

Pada subbab ini akan dibahas bagaimana menemukan keypoint yang sama dari dua gambar sidik jari. Proses pencocokan dua gambar sidik jari dapat dilihat alurnya di Gambar 3.10.

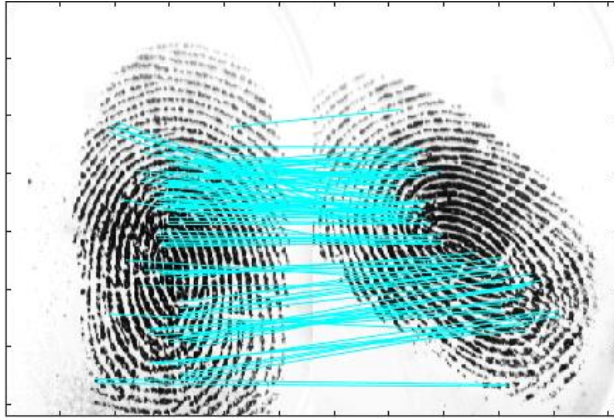
Setelah didapatkan descriptor dan locs dari tiap gambar, maka didapatkan parameter *des1*, *locs1*, *des2* dan *locs2*. Data tersebut dapat diolah untuk image matching. Seperti di bahas sebelumnya bahwa data descriptor gambar berupa matriks K x 128. Berikut adalah contoh data descriptor yang telah didapatkan, dapat dilihat pada Gambar 3.11.

	15	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129
2543	0.0079	0.0491	0.0432	0	0	0.1101	0.0295	0.0334	0.0629	0.2418	0.1297	0	0	0.0020	
2544	0.1693	0.0866	0.0177	0.0059	0.0394	0.0394	0.0374	0.0650	0.0118	0.0059	0	0.0079	0.0256	0.0079	
2545	0.1142	0.1850	0.2264	0.0531	0.0276	0.0157	0.1319	0.1809	0.0669	0.0236	0.0669	0.0236	0	0.0039	
2546	0.0236	0.0394	0.0098	0	0	0.0177	0.0334	0.0235	0.0098	0	0	0	0	0.0098	
2547	0.0394	0.0493	0.0908	0.0197	0.0158	0.0473	0.1064	0.0571	0	0	0.0768	0.0355	0.0020	0.0177	
2548	0.0669	0.0354	0	0	0.0472	0.0472	0.0079	0.0472	0.0197	0	0	0	0	0.0079	
2549	0.1257	0.0393	0	0.0354	0.0354	0.0334	0.0196	0.0511	0.0295	0	0	0.0118	0.0432	0.0413	
2550	0.0649	0	0	0.0059	0.0433	0.0728	0.0157	0.0118	0	0	0	0	0	0.0118	
2551	0.0236	0.0335	0.0453	0.0276	0.0236	0.0354	0.0945	0.0669	0	0	0	0	0	0.0098	
2552	0.0020	0.0255	0.0098	0	0.0196	0.2416	0.0196	0	0.0177	0.2416	0.0314	0	0	0.0157	
2553	0	0	0	0	0.0157	0.1239	0.0020	0	0	0	0	0	0.0020	0.0177	
2554	0	0	0	0.0098	0.0648	0.0943	0.0059	0	0	0	0	0	0	0.0196	
2555															

Gambar 3.11: Isi data descriptor *des1*

Dari Gambar 3.11 dapat diketahui bahwa *des1* memiliki matriks berukuran 2554 x 128. Berarti gambar sidik jari tersebut memiliki 2554 key point. Begitu juga pada descriptor pada gambar sidik jari lainnya. Untuk mengetahui keypoint mana yang saling bercocokan, yaitu dengan melakukan perkalian dot product dari *des1* dengan *des2T*. *des2T* adalah isi matriks *des2* yang sudah di transpose. Hasil perkalian disimpan dan disorting dari nilai yang paling kecil. Setelah disorting selanjutnya akan membandingkan nilai terkecil val(1) dengan nilai terkecil kedua val(2) di index. Membandingkannya dengan cara $\text{val}(1) < \text{val}(2) \times \text{disratio}$. Dimana *disratio* berisi 0,6. Artinya jika *val*(1) lebih kecil dari *val*(2) × 0,6 maka keypoint dari kedua perkalian dot tersebut akan disimpan dalam index. Sebaliknya jika ternyata *val*(1) lebih besar maka keypoint dari perkalian dot tersebut tidak akan disimpan dalam index. Proses ini akan berulang hingga data terakhir.

Setelah selesai proses pencocokan selanjutnya menampilkan garis yang menunjukkan keypoint yang cocok dari kedua gambar. Gambar 3.12 menampilkan gambar dua sidik jari dengan garis-garis yang menunjukan keypoint yang sama.



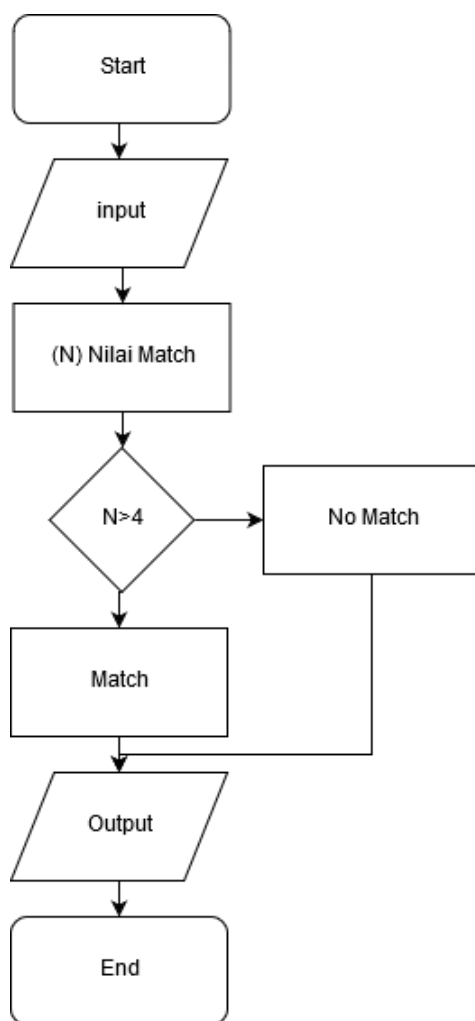
Gambar 3.12: hasil setelah proses match.

Banyaknya nilai match bisa didapatkan dari banyaknya jumlah match(i) yang tersimpan di index. Pada Gambar 3.12 terdapat 113 titik kecocokan.

3.3. Tahap Pengujian Hasil

Pada tahap ini akan melakukan pengujian dengan batasan yang diubah-ubah. Batasan atau threshold yang di ubah adalah batasan untuk klasifikasi apakah percobaan tersebut dianggap match atau no match

Blok diagram alur pencocokan dua gambar sidik jari dapat dilihat pada Gambar 3.13. Masukan berupa nilai hasil pencocokan keypoint dua gambar sidik jari. Pencocokan sidik jari dilakukan dengan membandingkan nilai Match dengan nilai ambang (t).



Gambar 3.13: Diagram pengujian.

Proses pendeteksian dimulai dengan dihitungnya nilai match dari keypoint yang terdeteksi. Nilai n tersebut kemudian di bandingkan dengan nilai ambang kecocokan sidik jari ($t = 4$). Jika nilai N lebih besar

dari nilai ambang kecocokan sidik jari (t) maka percobaan kedua sidik jari tersebut cocok (Match). Jika nilai N kurang dari nilai ambang kecocokan sidik jari (t), maka percobaan kedua sidik jari tersebut tidak cocok (No Match).

Jika pengujian menggunakan threshold telah selesai dan telah dicatat hasilnya, pengujian akan dilanjutkan dengan pengujian menggunakan threshold 5. Pengujian tetap dilanjutkan hingga menggunakan threshold 6.

3.3.1. Rancangan Data Uji

Pada tahap ini akan menjelaskan bagaimana melakukan pengujian menggunakan data yang telah didapatkan. Pengujian dilakukan dengan menjadikan tiap gambar sidik jari menjadi data referensi dan data uji.

Tabel 3.1: Contoh tabel data uji.

Sidik Jari Uji	Sidik Jari Referensi	Banyak Match	Definisi
fingerprint11.bmp	fingerprint11.bmp	1831	Match
fingerprint11.bmp	fingerprint12.bmp	9	Match
fingerprint11.bmp	fingerprint13.bmp	18	Match
fingerprint11.bmp	fingerprint14.bmp	0	Not
fingerprint11.bmp	Fingerprint21.bmp	1	Not
fingerprint11.bmp	Fingerprint22.bmp	2	Not
fingerprint11.bmp	Fingerprint23.bmp	0	Not
fingerprint11.bmp	Fingerprint24.bmp	0	Not
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
fingerprint11.bmp	Fingerprint204.bmp	1	Not

Seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.1, dapat dilihat alur pengujian menggunakan data gambar sidik jari. Tiap gambar sidik jari diujicobakan kesetiap gambar sidik jari. Seperti pada contoh Tabel 3.1 gambar

fingerprint11.bmp diujicobakan pada gambar fingerprint11.bmp sampai pada gambar fingerprint204.bmp. Begitu juga pada gambar berikutnya gambar fingerprint12.bmp diujicobakan dari gambar fingerprint11.bmp sampai pada gambar fingerprint204.bmp. Begitu seterusnya hingga seluruh data gambar sidik jari diujicobakan.

Selama pengujian juga dilakukan pencatatan nilai match yang ditemukan dari pengujian pencocokan dua gambar sidik jari tersebut. Selain itu juga dilakukan pencatatan hasil pengujian. Hasil pengujian berupa “Match” dan “Not Match”.

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISA

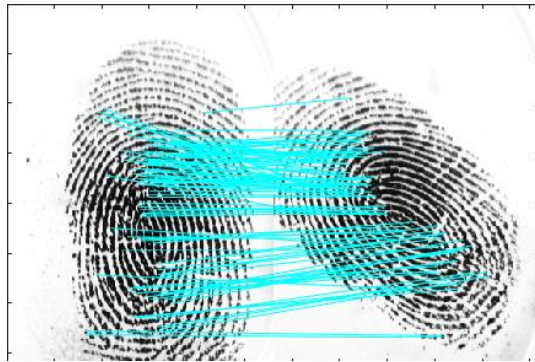
Pada bab ini dipaparkan hasil pengujian serta analisa dari desain sistem dan implementasi. Data yang digunakan dalam pengujian adalah data gambar yang diambil dengan fingerprint reader ZK4500.

4.1. Macam Hasil Pengujian

Data kemudian diujicobakan dengan data lainnya menggunakan program yang telah disiapkan. Dari pengujian tersebut muncul beberapa macam hasil pengujian, yaitu:

4.1.1. True Positif

Hasil ini adalah ketika pengujian program menyatakan kedua sidik jari uji coba adalah sama atau match dan data manual juga menyatakan sama.



Gambar 4.1: Gambar hasil match True Positive

Pada contoh Gambar 4.1 menunjukkan hasil percobaan sidik jari 1 model 1 dengan sidik jari 1 model 3. Hasil tersebut menyatakan kedua sidik jari tersebut sama dengan menghasilkan nilai titik match sebanyak 113 titik, lebih dari nilai ambang. Sesuai dengan data manual yang didapat bahwa keduanya adalah sidik jari 1.

4.1.2. True Negatif

Hasil ini adalah ketika pengujian program menyatakan kedua sidik jari uji coba adalah tidak sama atau no match data manual juga menyatakan no match.

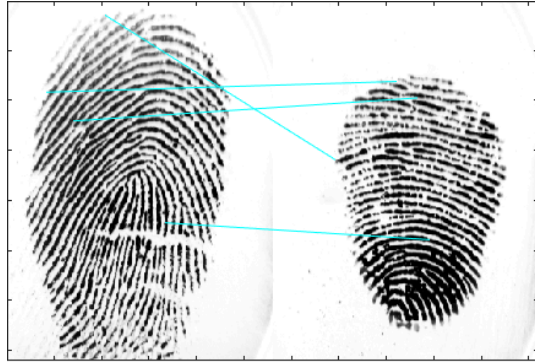


Gambar 4.2: Gambar hasil match True Negative

Pada Gambar 4.2 menunjukan hasil percobaan sidik jari 1 model 1 dengan sidik jari 6 model 1. Hasil tersebut menyatakan kedua sidik jari tersebut tidak sama dengan tidak menghasilkan nilai match, kurang dari nilai ambang. Hasil tersebut sesuai dengan data manual yang didapat bawah keduanya adalah sidik jari yang tidak sama.

4.1.3. False Positif

Hasil ini adalah ketika pengujian program menyatakan kedua sidik jari uji coba adalah sama atau match sedangkan data manual menyatakan kedua sidik jari tersebut tidak sama atau no match.

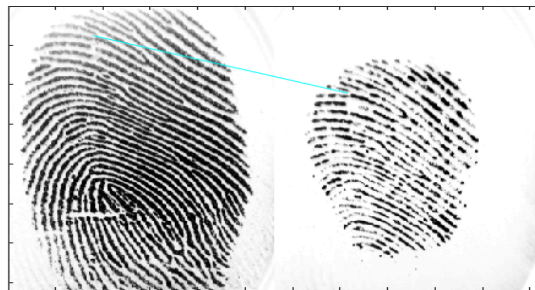


Gambar 4.3: Gambar hasil match False Positive

Pada Gambar 4.3 menunjukkan hasil percobaan sidik jari 5 model 1 dengan sidik jari 1 model 4. Hasil tersebut menyatakan kedua sidik jari tersebut sama, dengan menghasilkan nilai titik match sebanyak 5 titik, lebih dari nilai ambang. Hal tersebut tidak sesuai dengan data manual yang didapat bahwa keduanya adalah dua sidik jari yang berbeda atau no match.

4.1.4. False Negatif

Hasil ini adalah ketika pengujian program menyatakan kedua sidik jari uji coba adalah tidak sama atau no match sedangkan data manual menyatakan kedua sidik jari tersebut adalah sama atau match.



Gambar 4.4: Gambar hasil match False Negative

Pada Gambar 4.4 menunjukkan hasil percobaan sidik jari 4 model 1 dengan sidik jari 4 model 4. Hasil tersebut menyatakan kedua sidik jari tersebut tidak sama dengan menghasilkan 1 nilai titik match, kurang dari nilai ambang. Hal tersebut tidak sesuai dengan data manual yang didapat bahwa keduanya adalah dua sidik jari yang sama atau match.

4.2. Analisa Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan sehingga dapat ditarik beberapa kesimpulan dari pelaksanaan tugas akhir ini. Pengujian dilakukan dengan mencocokkan setiap data gambar sidik jari ke seluruh 80 dataset gambar sidik jari. Dari pengujian tersebut didapat 6400 data hasil pengujian. Hasil pengujian pencocokan gambar sidik jari disajikan pada Tabel 4.1.

4.2.1. Hasil Pengujian Threshold Match Point 3

Pada pengujian bagian ini pengujian diberi batasan sebesar 3 match point. Yang artinya ketika pengujian mencocokkan sidik jari memiliki hasil 3 atau lebih match point maka hasil pengujian tersebut menyatakan kedua sidik jari tersebut adalah match. Sebaliknya ketika pengujian memiliki hasil kurang dari 3 maka hasil pengujian tersebut menyatakan kedua sidik jari tersebut adalah tidak match. Hasil pengujian pencocokan gambar sidik jari disajikan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1: Tabel hasil pengujian verifikasi sidik jari threshold 3.

		Sebenarnya		Total
		Match	No Match	
Pengujian	Match	305	165	470
	No Match	15	5915	5930
Total		320	6080	6400

Untuk mempermudah perhitungan maka Tabel 4.1 dapat diringkaskan menggunakan matriks *confusion* 2 x 2 yang menggambarkan keempat kemungkinan hasil yang di tampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Tabel matriks *confusion* hasil pengujian threshold 3

True Positive (TP) Sebenarnya : Match Pengujian : Match Hasil : 305	False Positive (FP) Sebenarnya : No Match Pengujian : Match Hasil : 165
False Negative (FN) Sebenarnya : Match Pengujian : No Match Hasil : 15	True Negative (TN) Sebenarnya : No Match Pengujian : No Match Hasil : 5915

Untuk mengetahui keakuratan SIFT dalam verifikasi sidik jari melalui *image processing* masih perlu perhitungan menggunakan rumus berikut.

$$Accuracy = \frac{Number\ of\ Correct\ Predictions}{Total\ Number\ of\ Predictions}$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

$$Accuracy = \frac{305 + 5915}{305 + 5915 + 165 + 15}$$

$$Accuracy = 0,971875 = 97,18\%$$

Akurasi mencapai 0,971875, atau 97,18%, Berarti 6220 verifikasi yang benar dari 6400 total percobaan. Itu berarti metode *Scale Invariant Feature Transform* melakukan pekerjaan besar memverifikasi sidik jari.

Selain menghitung akurasi, dari hasil percobaan tersebut bisa dibuat untuk menghitung presisi. Presisi adalah berapa proporsi verifikasi positif yang benar. Perhitungan presisi adalah sebagai berikut.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Precision = \frac{305}{305 + 165}$$

$$Precision = 0.648936 = 64.89\%$$

Metode SIFT untuk verifikasi sidik jari memiliki presisi 64,89%. Artinya ketika verifikasi dua sidik jari dan program menyatakan match, maka kemungkinan itu benar-benar match adalah 64,89%.

Selain menghitung akurasi, dari hasil percobaan tersebut bisa dibuat untuk menghitung recall. Recall adalah dari semua label positif yang mungkin, berapa banyak model yang diidentifikasi dengan benar. Perhitungan Recall adalah sebagai berikut:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$Recall = \frac{305}{305 + 15}$$

$$Recall = 0.953125$$

Metode SIFT untuk verifikasi sidik jari memiliki recal 0.953125. Artinya metode ini akan dengan benar verifikasi sidik jari 95,31% dari semua sidik jari yang sama.

Analisa berikutnya menghitung False Positive Rate (FPR). FPR ini nantinya akan digunakan untuk membuat kurva ROC. Untuk perhitungan FPR adalah sebagai berikut:

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN}$$

$$FPR = \frac{165}{165 + 5915}$$

$$FPR = 0.027138$$

Dari perhitungan FPR diatas bisa diketahui bahwa metode SIFT untuk verifikasi sidik jari memiliki kesalahan atau error sebesar 2,71% ketika memverifikasi dua sidik jari yang sebenarnya no match.

4.2.2. Hasil Pengujian Threshold Match Point 4

Pada pengujian bagian ini pengujian diberi batasan sebesar 4 match point. Yang artinya ketika pengujian mencocokkan sidik jari memiliki hasil 4 atau lebih match point maka hasil pengujian tersebut menyatakan kedua sidik jari tersebut adalah match. Sebaliknya ketika pengujian memiliki hasil kurang dari 4 maka hasil pengujian tersebut menyatakan kedua sidik jari tersebut adalah tidak match. Hasil pengujian pencocokan gambar sidik jari disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Tabel hasil pengujian verifikasi sidik jari threshold 4

		Sebenarnya		Total
		Match	No Match	
Pengujian	Match	298	23	322
	No Match	22	6057	6078
Total		320	6080	6400

Untuk mempermudah perhitungan maka Tabel 4.3 dapat diringkaskan menggunakan matriks *confusion* 2 x 2 yang menggambarkan keempat kemungkinan hasil yang di tampilkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Tabel matriks *confusion* hasil pengujian.

True Positive (TP) Sebenarnya : Match Pengujian : Match Hasil : 298	False Positive (FP) Sebenarnya : No Match Pengujian : Match Hasil : 23
False Negative (FN) Sebenarnya : Match Pengujian : No Match Hasil : 22	True Negative (TN) Sebenarnya : No Match Pengujian : No Match Hasil : 6057

Untuk mengetahui keakuratan SIFT dalam verifikasi sidik jari melalui *image processing* masih perlu perhitungan menggunakan rumus berikut.

$$Accuracy = \frac{Number\ of\ Correct\ Predictions}{Total\ Number\ of\ Predictions}$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

$$Accuracy = \frac{298 + 6057}{298 + 6067 + 23 + 22}$$

$$Accuracy = 0,993125 = 99,29\%$$

Akurasi mencapai 0,992969, atau 99,29%, Berarti 6355 verifikasi yang benar dari 6400 total percobaan. Itu berarti metode *Scale Invariant Feature Transform* melakukan pekerjaan besar memverifikasi sidik jari.

Selain menghitung akurasi, dari hasil percobaan tersebut bisa dibuat untuk menghitung presisi. Presisi adalah berapa proporsi verifikasi positif yang benar. Perhitungan presisi adalah sebagai berikut.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Precision = \frac{298}{298 + 23}$$

$$Precision = 92.83\%$$

Metode SIFT untuk verifikasi sidik jari memiliki presisi 92,83%. Artinya ketika verifikasi dua sidik jari dan program menyatakan match, maka kemungkinan itu benar-benar match adalah 92,83%.

Selain menghitung akurasi, dari hasil percobaan tersebut bisa dibuat untuk menghitung recall. Recall adalah dari semua label positif

yang mungkin, berapa banyak model yang diidentifikasi dengan benar. Perhitungan Recall adalah sebagai berikut:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$Recall = \frac{298}{298 + 22}$$

$$Recall = 0.93125$$

Metode SIFT untuk verifikasi sidik jari memiliki recall 0.9312. Artinya metode ini akan dengan benar verifikasi sidik jari 93,12% dari semua sidik jari yang sama.

Analisa berikutnya menghitung False Positive Rate (FPR). FPR ini nantinya akan digunakan untuk membuat kurva ROC. Untuk perhitungan FPR adalah sebagai berikut:

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN}$$

$$FPR = \frac{23}{23 + 6057}$$

$$FPR = 0.003783$$

Dari perhitungan FPR diatas bisa diketahui bahwa metode SIFT untuk verifikasi sidik jari memiliki kesalahan atau error sebesar 0.37% ketika memverifikasi dua sidik jari yang sebenarnya no match.

4.2.3. Hasil Pengujian Threshold Match Point 5

Pada pengujian bagian ini pengujian diberi batasan sebesar 5 match point. Yang artinya ketika pengujian mencocokkan sidik jari memiliki hasil 5 atau lebih match point maka hasil pengujian tersebut menyatakan kedua sidik jari tersebut adalah match. Sebaliknya ketika pengujian memiliki hasil kurang dari 5 maka hasil pengujian tersebut

menyatakan kedua sidik jari tersebut adalah tidak match. Hasil pengujian pencocokan gambar sidik jari disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Tabel hasil pengujian verifikasi sidik jari threshold 5

		Sebenarnya		Total
		Match	No Match	
Pengujian	Match	297	12	309
	No Match	23	6068	6091
Total		320	6080	6400

Untuk mempermudah perhitungan maka Tabel 4.5 dapat diringkas menggunakan matriks *confusion* 2 x 2 yang menggambarkan keempat kemungkinan hasil yang di tampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6: Tabel matriks *confusion* hasil pengujian.

True Positive (TP) Sebenarnya : Match Pengujian : Match Hasil : 297	False Positive (FP) Sebenarnya : No Match Pengujian : Match Hasil : 12
False Negative (FN) Sebenarnya : Match Pengujian : No Match Hasil : 23	True Negative (TN) Sebenarnya : No Match Pengujian : No Match Hasil : 6068

Untuk mengetahui keakuratan SIFT dalam verifikasi sidik jari melalui *image processing* masih perlu perhitungan menggunakan rumus berikut.

$$Accuracy = \frac{Number\ of\ Correct\ Predictions}{Total\ Number\ of\ Predictions}$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

$$Accuracy = \frac{297 + 6068}{297 + 6068 + 12 + 23}$$

$$Accuracy = 0,994531 = 99,45\%$$

Akurasi mencapai 0,994531, atau 99,45%, Berarti 6068 verifikasi yang benar dari 6400 total percobaan. Itu berarti metode *Scale Invariant Feature Transform* melakukan pekerjaan besar memverifikasi sidik jari.

Selain menghitung akurasi, dari hasil percobaan tersebut bisa dibuat untuk menghitung presisi. Presisi adalah berapa proporsi verifikasi positif yang benar. Perhitungan presisi adalah sebagai berikut.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Precision = \frac{297}{297 + 12}$$

$$Precision = 0.961165 = 96.11\%$$

Metode SIFT untuk verifikasi sidik jari memiliki presisi 96,11%. Artinya ketika verifikasi dua sidik jari dan program menyatakan match, maka kemungkinan itu benar-benar match adalah 96,11%.

Selain menghitung akurasi, dari hasil percobaan tersebut bisa dibuat untuk menghitung recall. Recall adalah dari semua label positif yang mungkin, berapa banyak model yang diidentifikasi dengan benar. Perhitungan Recall adalah sebagai berikut:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$Recall = \frac{297}{297 + 23}$$

$$Recall = 0.928125$$

Metode SIFT untuk verifikasi sidik jari memiliki recal 0.928125. Artinya metode ini akan dengan benar verifikasi sidik jari 92,81% dari semua sidik jari yang sama.

Analisa berikutnya menghitung False Positive Rate (FPR). FPR ini nantinya akan digunakan untuk membuat kurva ROC. Untuk perhitungan FPR adalah sebagai berikut:

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN}$$

$$FPR = \frac{12}{12 + 6068}$$

$$FPR = 0.001974$$

Dari perhitungan FPR diatas bisa diketahui bahwa metode SIFT untuk verifikasi sidik jari memiliki kesalahan atau error sebesar 0.19% ketika memverifikasi dua sidik jari yang sebenarnya no match.

4.2.4. Hasil Pengujian Rotasi

Disini dilakukan pengujian terhadap gambar sidik jari yang bergeser secara rotasi. Gambar yang terotasi dalam sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180°. Pengujian dilakukan terhadap dua sidik jari yang tiap sidik jarinya diambil gambarnya dengan sudut yang berbeda. Hasil percobaan dapat dilihat dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7: Tabel hasil pengujian rotasi.

		Sebenarnya		Total
		Match	No Match	
Pengujian	Match	50	0	50
	No Match	0	50	50
Total		50	50	100

Dari Tabel 4.7 dapat diketahui hasil percobaan mencapai akurasi 100% dan presisi mencapai 100%. Ini membuktikan metode SIFT mampu memverifikasi sidik jari walaupun data sidik jari berupa sidik jari yang terotasi.

4.2.5. Analisa Pengujian Keseluruhan

Setelah pengujian dan analisa dari tiap threshold dapat kita lihat bahwa metode SIFT sangat bagus digunakan dalam verifikasi sidik jari dengan hasil akurasi mencapai 99%. Berikut adalah table hasil seluruh pengujian.

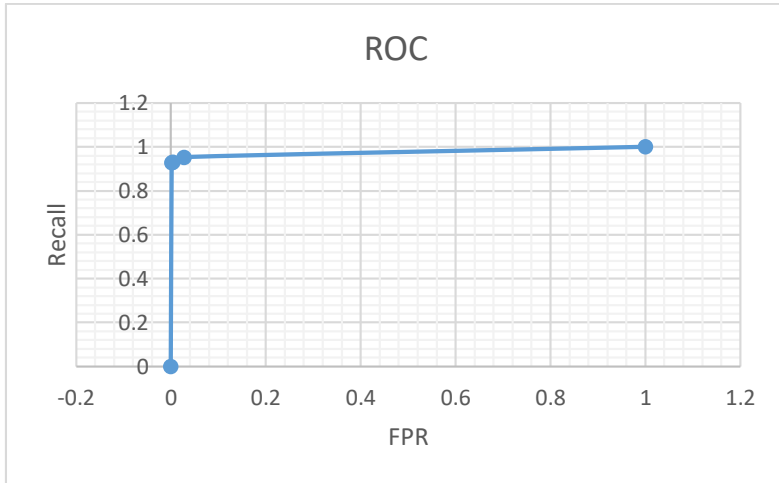
Tabel 4.8: Tabel hasil pengujian dari seluruh threshold.

Threshold	TP	TN	FP	FN
3	305	5915	165	15
4	298	6057	23	22
5	297	6068	12	23

Tabel 4.9: Tabel hasil perhitungan Akurasi, Presisi, Recall, FPR.

Threshold	Akurasi	Presisi	Recall	FPR
3	97,18%	64,89%	0,953125	0,027138
4	99,29%	92,83%	0,93125	0,003783
5	99,45%	96,11%	0,928125	0,001974

Dari table 4.8 bisa dibuat kurva ROC. Kurva ROC merupakan visualisasi karakterisadi dari hubungan antar Recall (atau bisa disebut True Positive Rate) dan FPR. ROC digunakan untuk mengevaluasi performa suatu metode system biometric. ROC dibentuk dari plot nilai FPR sebagai titik x dan nilai Recall sebagai titik y. Plot ROC pada percobaan ini ditunjukkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5: Gambar hasil kurva ROC.

Dari kurva pada gambar 4.5 dapat diketahui bahwa Metode SIFT sangat bagus digunakan dalam verifikasi sidik jari. Karena kurva ROC metode SIFT mendekati titik (0,1). Untuk mengetahui seberapa bagus, perlu dihitung luas area di bawah kurva (Area Under ROC Curve). AUC dari kurva Gambar 4.5 adalah 0,974665. Artinya ketika melakukan pengujian metode SIFT secara acak, kemungkinan pengujian menghasilkan pengujian yang benar adalah 97,46%.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang sudah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengujian, verifikasi sidik jari menggunakan metode *Scale Invariant Feature Transform* memberikan hasil yang sangat akurat. Tingkat akurasi nya bisa mencapai 97,46%.
2. Berdasarkan hasil pengujian, SIFT untuk verifikasi sidik jari memiliki nilai Akurasi dan Presisi terbaik pada 99,45% dan 96,11%. Nilai tersebut tercapai ketika pengujian dilakukan pada threshold 5.
3. Berdasarkan hasil pengujian, Metode SIFT untuk verifikasi sidik jari dapat disimpulkan bahwa Metode Scale Infariant Feature Transform sangat cocok untuk digunakan dalam verifikasi sidik jari.

5.2. Saran

Berdasarkan pengujian dan kesimpulan terdapat beberapa saran sebagai langkah lanjutan dari tugas akhir ini yang di jabarkan sebagai berikut :

1. Menambahkan variasi gangguan data input gambar sidik jari. Sehingga bisa diketahui seberapa tinggi presisi metode SIFT jika inputan data sangat tidak ideal
2. Melakukan pengujian lebih lanjut pada objek lain seperti iris mata dan wajah.
3. Merancang program dalam bentuk GUI (*Graphical User Interface*) agar lebih mudah dan interaktif untuk di gunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lowe, David G., "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," Computer Science Department, University of British Columbia, Vancouver, B.C., Canada, January 2004
- [2] Lowe, David G., "Object Recognition from Local Scale-Invariant Features". Computer Science Department, University of British Columbia, Vancouver, B.C., Canada, 1999.
- [3] Unsang Park, S. Pankanti, and A. K. Jain, "Fingerprint Verification Using SIFT Features". SPIE Defense and Security Symposium, Orlando, Florida, 2008
- [4] "Detector Performance Analysis Using ROC Curves - MATLAB & Simulink Example". www.mathworks.com. Diakses pada 6 June 2018.
- [5] Wikipedia, "Receiver operating characteristic". https://en.wikipedia.org/wiki/Receiver_operating_characteristic. Diakses pada 6 Juni 2018
- [6] Henry, Edward R., Sir (1900). "Classification and Uses of Finger Prints". London: George Rutledge & Sons, Ltd.
- [7] Vinay A, Ganesh Kathiresan, "Face Recognition Using Filtered EOH-SIFT". 7th International Conference on Communication, Computing and Virtualization, 2016
- [8] Anil K. Jain, A. Ross, and S. Prabhakar, "An Introduction to Biometric Recognition". IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, Special Issue on Image- and Video-Based Biometrics, Vol. 14, No. 1, January 2004
- [9] Novianto, Ipoet. "Identifikasi Sidik Jari Menggunakan Metode Hybrid Minutiae Dan Phase-Base Image Correlation Untuk Data Berskala Besar". Surabaya : JTE-ITS. 2011
- [10] Ai Shack, "SIFT: Theory and Practice". <http://www.aishack.in/tutorials/sift-scale-invariant-feature-transform-introduction/>. Diakses pada 2 Juli 2018.

BIOGRAFI PENULIS



Charisma Vian Geslianto, lahir pada 28 Agustus 1992 di Bontang, Kalimantan Timur. Penulis lulus dari SMP Yayasan Pupuk Kaltim Bontang pada tahun 2007 kemudian melanjutkan pendidikan di SMA Yayasan Pupuk Kaltim Bontang hingga lulus pada tahun 2010. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan sarjana ke Jurusan Teknik Elektro ITS Surabaya pada bidang studi Telematika. Saat di kuliah penulis aktif dalam organisasi sebagai anggota Humas Robotika ITS 2012.

Selain itu penulis juga aktif menjadi anggota Laboratorium B201 (Telematika) Penulis sangat tertarik dengan fotografi dan segala hal yang berhubungan dengan computer dan telematika seperti pengolahan citra atau mobile gaming.